

УДК 669.15'786-194

В. В. Березовская^{1*}, Ю. А. Расковалова², А. С. Кириллова¹

¹Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

²Уральский турбинный завод, г. Екатеринбург

*ber6141@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОАЗОТИСТЫХ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ РАЗНОЙ СИСТЕМЫ ЛЕГИРОВАНИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Структура и фазовые превращения в высокоазотистых (0,4–1,0 масс. %) аустенитных сталях разной композиции легирования (Cr–N, Cr–Ni–N, Cr–Mn–N и Cr–Ni–Mn–N), исследованы методами просвечивающей электронной микроскопии, резистометрических измерений, дилатометрии и рентгеноструктурного анализа.

Ключевые слова: аустенит, нитриды CrN, Mo₂N, σ-фаза, карбонитриды ванадия, мартенсит, δ-феррит (δ → γ, γ → σ)-превращения.

V. V. Berezovskaya, Yu. A. Raskovalova, A. S. Kirillova

FORMATION OF THE STRUCTURE OF HIGH- NITROGEN AUSTENITIC STEELS OF DIFFERENT ALLOYING SYSTEM AT HEAT TREATMENT

The structure and phase transformations in high-nitrogen (0,4–1,0 wt. %) austenitic steels of different alloying systems (Cr–N, Cr–Ni–N, Cr–Mn–N and Cr–Ni–Mn–N) were studied by transmission electron microscopy, resistometric measurements, dilatometry and X-ray diffraction analysis.

Key words: austenite, nitrides CrN, Mo₂N, σ-phase, vanadium carbonitrides, martensite, δ-ferrite, (δ→γ-, γ→σ)-transformations.

Химический состав сталей приведен в таблице. Стали подвергали аустенитизации при 1000–1200 °С (1–1,5 ч), закалке в воде и старению при 300–800 °С (2–3 ч). Для сравнения использовали углеродистую сталь 95X18.

Таблица

Химический состав сталей

№ пл.	Марка стали	C	N	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	V	Al
Cr-C														
1	95X18	0,920	—	0,63	0,79	0,025	0,023	18,30	—	—	—	—	—	—
Cr-N														
2	X21A1	0,020	1,021	0,19	0,42	0,015	0,010	21,45	—	—	—	—	—	—
Cr-Ni-N														
3	X18H2A1	0,008	0,899	0,30	0,27	0,020	0,010	17,86	2,00	—	—	—	—	—
Cr-Mn-N														
4	06X18AГ19M2	0,06	0,81	19,13	0,65	0,018	0,001	17,51	0,13	2,20	0,03	0,002	0,08	0,008
5	07X16AГ13M3	0,07	0,82	12,76	0,71	0,015	0,007	16,16	0,11	3,24	—	—	0,05	—
Cr-Mn-Ni-N														
6	04X22AГ17H8M2Ф	0,041	0,548	17,10	0,202	0,013	0,003	22,73	8,06	2,08	0,068	0,004	0,18	—
7	07X20AГ9H8MФ	0,071	0,397	8,96	0,337	0,015	0,004	19,74	8,35	1,025	0,063	0,008	0,58	—
8	03X20AГ11H7M2Ф	0,030	0,422	10,60	0,500	0,015	0,0040	19,62	6,81	1,67	—	—	0,22	—

Кинетика изменения электросопротивления закаленных от 1200 °С (1,5 ч) Cr–C, Cr–N и Cr–Ni–N-сталей (№ 1–3) в изотермических условиях (300, 400 и 500 °С) выявила две стадии распада аустенита: образование кластеров атомов внедрения и выделение карбидов/нитридов. В сталях с азотом эффекты $\Delta R/R$ более сильные, особенно в стали с Ni, и продолжительные. При 500 °С (> 10 ч) фазы внедрения растворяются. Структура закаленных сталей № 2 и 3 состоит из аустенита и мартенсита, а также изоморфных матрице высокодисперсных нитридов CrN.

В Cr–Mn–N-стали (№ 4) после закалки от 1000–1150 °С, а также после старения при 500 °С присутствуют γ -твердый раствор и изоморфные матрице наноразмерные нитриды CrN. После старения при 750–800 °С закаленной от 1150 °С стали по границам зерен выделяют-ся легированные хромом ГЦК-нитриды Mo_2N с последующим прерывистым распадом аустенита по реакции $\gamma \rightarrow \gamma_{\text{обедн.}} + \sigma$ и образованием χ -фазы при длительных выдержках.

В процессе закалки от 1100 °С в Cr–Mn–Ni–N-стали (№ 7), из-за повышенного содержания ванадия происходит распад аустенита с образованием сложных карбонитридов ванадия (V, Cr) (C, N), сдерживающих рост зерна (10 мкм) при высоких температурах. После старения при 500 °С дестабилизация аустенита приводит к $(\gamma \rightarrow \alpha')$ -мартенситному превращению при обработке холодом.

В стали № 6 после закалки от 1100 °С, кроме аустенита с крупным зерном (100 мкм), присутствуют δ -феррит и σ -фаза. Повышенное содержание азота и марганца по сравнению со сталью № 7 обеспечивают аустениту высокую стабильность к $(\gamma \rightarrow \alpha')$ -мартенситному превращению при температурах от 800 до –196 °С. При 500 °С происходит распад аустенита с образованием нитридов CrN.

В стали № 8 после закалки от 1100 °С в структуре присутствуют γ - и δ -фазы (10 %). Стабильность аустенита к $(\gamma \rightarrow \alpha')$ и $(\gamma \rightarrow \epsilon)$ -мартенситным превращениям сохраняется вплоть до степени деформации 35 %. При 500 °С происходит гомогенный распад аустенита с образованием дисперсных нитридов CrN, при 800 °С — $(\delta \rightarrow \gamma)$ -полиморфное превращение и $(\gamma \rightarrow \sigma)$ -распад пересыщенного хромом аустенита.

*Авторы благодарят М. С. Хадыева за помощь
в проведении электронно-микроскопических исследований.*